

Heikki Kokkonen

Tekla Structures Custom components

Liitosmakrojen ohjelmointi ja mitoitus

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Heikki Kokkonen

Työn nimi: Tekla Structures Custom components: Liitosmakrojen ohjelmointi ja mitoitus

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 38

Liitteiden lukumäärä: 4

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli luoda erilaisia liitosmakroja sekä näille omat laskentamallit, joiden avulla liitos voidaan mitoittaa tunnettujen rasiusten perusteella. Laskentamallit toteutettiin Excel-ohjelmistolla ja mitoituksen perustana käytettiin Eurocode-standardeja. Makrot mallinnettiin siten, että niitä voidaan käyttää niin hitsattujen H/I-profiilien kuin myös neliön- ja suorakaiteen muotoisten rakenneputkien kanssa. Tämä opinnäytetyö toteutettiin Contria Oy:lle.

Tarkoituksena oli myös yksinkertaistaa liitoksen mitoitusta ja mallinnusta suunnittelijan kannalta liitoksille yksilöityjen mitoituskorttien avulla. Työhön ei sisällytetty laskentapohjan integroimista suoraan Tekla Structures -ohjelmistoon Open API -rajapinnan avulla, vaan laskentamalli tehtiin erillisenä mitoituskorttina yrityksen toivomuksesta.

Avainsanat: Liitosmakro, Tekla Structures, mallintaminen, mitoitus, Excel

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Heikki Kokkonen

Title of thesis: Tekla Structures Custom components: Programming and designing macros

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2013

Number of pages: 38

Number of appendices: 4

The purpose of the thesis was to create joint macros that automatically connect steel structures. There is also a calculation model linked to each joint. The calculation is based on Eurocode standards and was created by using excel software. The macros were made so that they are usable with welded H/I profiles as well as CFRHS (cold-formed rectangular hollow sections). The client of the thesis was Contria Oy.

Another goal for the thesis was to simplify the process of modelling and designing joints using specific calculation models. The thesis does not take a stance on how to integrate excel calculations straight to Tekla Structures software upon the client's wish.

Keywords: Joint macro, Tekla structures, modeling, designing, excel

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	10
1.2 Tilaaaja	11
2 TIETOMALLINNUS RAKENNESUUNNITTELUSSA.....	12
2.1 Mikä on tietomalli?	12
2.2 Hyödyt.....	13
2.3 Kehitysalueet.....	13
3 TEKLA STRUCTURES	15
3.1 Yleistä	15
3.2 Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanot	15
3.3 Custom components	17
3.4 Custom componentin editointi	17
4 ÄLYKKÄÄN MAKRON LUONTI	18
4.1 Liitoksen mallinnus.....	18
4.2 Komponenttien editointi.....	20
4.3 ”Älyn” lisääminen makroon.....	22
4.4 Makron ulkoasu.....	23
4.5 Testaus	25
5 LIITOKSEN LASKENTAMALLI	26
5.1 Yleistä	26
5.2 Laskentapohjat.....	26
5.3 Komponenttien mitoitus.....	27
5.3.1 Levyosat.....	28
5.3.2 Ruuvit.....	30
5.3.3 Hitsit.....	31

6 JOHTOPÄÄTÖKSET	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	38

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Tekla Structuresin tietomalli	12
Kuvio 2. Laskentaohjelman integrointi Teklaan.....	14
Kuvio 3. Ojelmistokokoonpanot.....	16
Kuvio 4. Kuorituen komponentit ja mallinnuksen vaiheet	19
Kuvio 5. Custom Component Wizardin aloitusnäkyä	20
Kuvio 6. Custom componentin editointipalkki.....	21
Kuvio 7. Variables-ikkuna	21
Kuvio 8. Custom component browser	22
Kuvio 9. Esimerkki muokatusta INP-tiedostosta.....	24
Kuvio 10. xy-koordinaatisto käyttöliittymässä.....	25
Kuvio 11. Esimerkkiliitos, johon laskenta on tehty.....	26
Kuvio 12. Vipuvoima Q	29
Kuvio 13. Rakenneputkien välisten liitosten kestävyysien mitoitusarvo	30
Kuvio 14. Pienahitsin jännitykset.....	32
Taulukko 1. Eri lujuusluokkien väliset hitsit, kun liitokseen kohdistuu vain suoraa vetoa tai puristusta	33

Käytetyt termit ja lyhenteet

a-mitta	Pienahitsin efektiivinen paksuus a
BIM	Englanninkielinen lyhenne tietomallille (Building Information Modeling)
Bitmap-tiedosto	Windowsin käyttämä pakkaamaton tiedostomuoto kuville
CAD-suunnittelu	Tietokoneavusteisella ohjelmalla tehtävää suunnittelua (computer aided design)
Eurocode	Yhteiseurooppalainen kantavien rakenteiden suunnittelustandardi
Excel	Microsoftin valmistama taulukkolaskentaohjelma
H/I-profiili	Hitsattu teräsprofiili, joka koostuu uumasta ja kahdesta laipasta
Handle-piste	Kappaleen päätydyssä tai kulmassa sijaitseja piste, joka sidotaan xyz -koordinaatistoon
INP-tiedosto	Tekstitiedosto, jossa voidaan määrittää makron käyttöliittymän osat ja niiden sijainti
Makro	Älykäs komponentti
Open API	Ohjelmointirajapinta, jonka avulla mallinnusohjelmaan voidaan integroida lisätoimintoja ja -sovelluksia
A	Liittimen bruttopinta-ala, [mm ²]
A_s	Liittimen jännityspoikkipinta-ala, [mm ²]
A_v	Neliö- tai suorakaidepoikkileikkauksen pinta-ala, [mm ²]
b	Poikkileikkauksen leveys, [mm]

$B_{p,Rd}$	Liittimen lävistymiskestävyys, [kN]
d	Liittimen halkaisija, [mm]
d_0	Liittimelle tehtävän reijän halkaisija, [mm]
f_u	Teräksen vetomurtolujuuden nimellisarvo, [N/mm ²]
f_{ub}	Liittimen vetomurtolujuuden nimellisarvo, [N/mm ²]
$f_{vw,d}$	Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo, [N/mm ²]
f_y	Teräksen myötörajan nimellisarvo, [N/mm ²]
f_{yb}	Liittimen myötörajan nimellisarvo, [N/mm ²]
$F_{t,Rd}$	Liittimen vetokestävyys, [kN]
$F_{w,Rd}$	Hitsin kestävyysden mitoitusarvo, [kN]
h	Poikkileikkauksen korkeus, [mm]
k_σ	Jännityssuhdetta vastaava lommahduskerroin
$M_{pl,1}$	Liitokseen syntyvän vipuvoiman mitoitusarvo, [kNm]
n	Liitinten määrä liitoksessa, [kpl]
$N_{1,Rd}$	Diagonaalin läpileikkaantumisen puristuskestävyys, [kN]
N_{Ed}	Normaalivoiman mitoitusarvo, [kN]
$N_{pl,Rd}$	Kappaleen puristuskestävyys, [kN]
$N_{t,Rd}$	Kappaleen vetokestävyys, [kN]
V_{Ed}	Leikkausvoiman mitoitusarvo, [kN]
$V_{pl,Rd}$	Kappaleen plastinen leikkauskestävyys, [kN]
W_{pl}	Plastinen taivutusvastus, [mm ³]

β_w	Pienahitsin korrelaatiokerroin
γ_{M0}	Teräksen osavarmuusluku
γ_{M1}	Rakenneosien osavarmuusluku
γ_{M2}	Liitososien osavarmuusluku
γ_{M5}	Rakenneputkien osavarmuusluku ristikoissa
ϵ	f_y :stä riippuva tekijä: $\sqrt{235/f_y}$
λ_p	Kappaleen hoikkuus
σ_{cr}	Kimmoteorian mukainen lommahdusjännitys, [N/mm ²]

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tietokoneavusteinen rakennesuunnittelu eli CAD-suunnittelu, on jo pitkään ollut alalla johtavana toimitapana. 2D- ja 3D-mallit ovat kuitenkin jäämässä pikku hiljaa taka-alalle, kun tietomallinnuksen eli BIMin (Building information modeling) tuomat hyödyt on huomattu. Ohjelmistoksi valittu Tekla Structures on rakennusalalla johtava tietomallinnusohjelmisto ja siitä syystä oiva aihe käsiteltäväksi opinnäytetyössä.

Tämä opinnäytetyö käsittelee Tekla Structures -ohjelmiston sisällä luotavia liitosmakroja, joiden tarkoitus on tehostaa työskentelyä varsinkin suuremmissa kohteissa, joissa samantyyllisiä liitoksia olisi normaalisti mallinnettava useampi. Luotavan makron avulla liitos voidaan mallintaa osoittamalla kahta komponenttia, pilaria ja siihen liittyvää ristikköä. Makroon luotavassa käyttöliittymässä suunnittelija pääsee vielä erikseen muokkaamaan tarvittaessa haluamiansa parametreja. Lähtökohtana on kuitenkin se, että makro osaisi itse hakea ohjelmoitujen reunaehtojen mukaan sopivan liitoksen.

Opinnäytetyöhön kuuluu myös Excel-laskentapohjien teko luoduille liitoksille. Laskentapohjiin on tarkoitus sisällyttää mahdollisimman paljon infoa säilyttäen kuitenkin laskentapohjan helppokäyttöisyyden. Pohjissa on tarkoitus panostaa myös tulosteiden laatuun ja helppolukuisuuteen. Excelin taulukkolaskentapohjat olisi mahdollista integroida Teklan yhteyteen Open API -rajapinnan kautta, mutta koska työn tekijällä tai tilaajalla ei ollut aiempaa kokemusta tämän toteutuksesta, tämä toiminto rajattiin pois opinnäytetyöstä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on yksilötasolla kehittää koulussa opittuja taitoja ja syventää tietämystä rakennesuunnittelun saralla. Tähän tarjoutuikin erinomainen mahdollisuus alan ammattilaisten parissa.

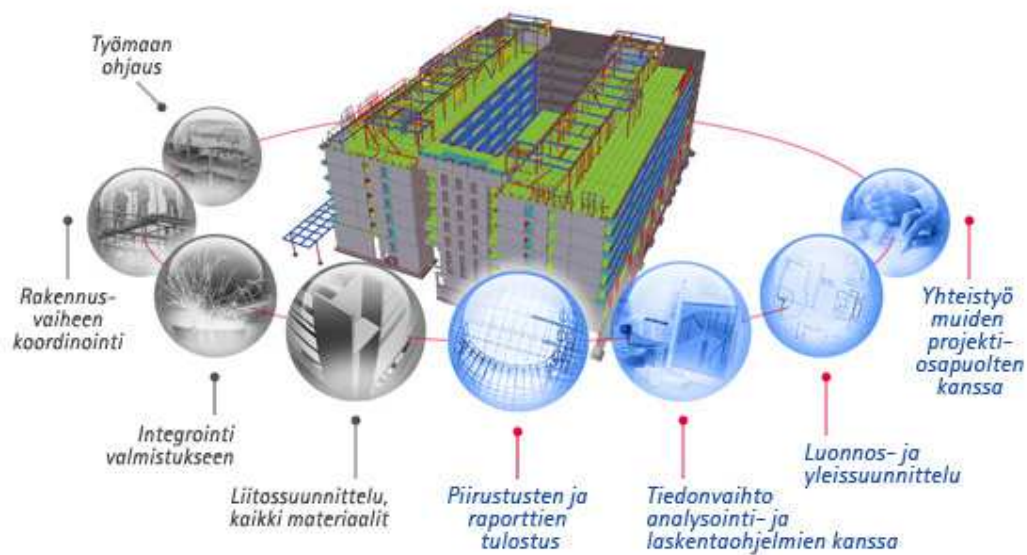
1.2 Tilaaja

Työn tilaajana toimi Pohjanmaan johtava rakennusalan konsultointiyritys Contria Oy. Yrityksen toimialoina ovat rakennesuunnittelu, projektinjohto ja kustannussuunnittelu sekä rakennusfysiikka. Contrian pääkonttori sijaitsee Vaasassa, jonka lisäksi toimipiste löytyy myös Seinäjoelta. Kaikkiaan yrityksen palveluksessa on yli 30 alan ammattilaista. Yritykselle myönnettiin alkuvuodesta 2013 Rakentamisen Laatu RaLa ry:n sertifikaatti pitkäjänteisen toimintajärjestelmän kehitystyön seurauksena. (Contria, 2013.)

2 TIETOMALLINNUS RAKENNESUUNNITTELUSSA

2.1 Mikä on tietomalli?

Tietomallista puhuttaessa käytetään yleisesti englannin kielestä tulevaa lyhennettä BIM (Building Information Modeling), jolla tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kerätään tietoa koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Tätä tietoa voidaan hyödyntää helposti eri prosesseissa. Kuviossa 1 on esitetty Tekla Structures –tietomalli.



Kuvio 1. Tekla Structuresin tietomalli
(Tietomalli, [Viitattu 7.1.2013]).

Tietomalli tuo rakentamisprosessin osapuolet (arkkitehdit, suunnittelijat, urakoitsijat ja rakennuttajat) alusta alkaen yhteen saman suunnitelman äärelle. Tämä on merkittävä etu verrattaessa perinteiseen rakentamisprosessiin, jossa jokainen osapuoli työskentelee omalla ohjelmistolla, jotka ovat harvoin täysin yhteensopivia keskenään. Yhteistyön tuloksena saadaan jo aikaisessa vaiheessa luotua kohteesta todenmukainen virtuaalimalli, joka sisältää jo tarkat materiaalitiedot.

2.2 Hyödyt

Normaalissa suunnittelussa piirustukset koostuvat pelkistä viivoista. Tietomallissa työskennellään viivojen sijaan erilaisilla käyttäjän määrittämällä objekteilla. Nämä objektit pitävät sisällään todellista tietoa, jota tarvitaan niin suunnittelu- kuin itse rakennusvaiheessa. Käyttäjä voi lisätä myös tarvitsemiaan attribuutteja, mutta yleensä objektit sisältävät mittatietojen lisäksi materiaalin, teräslaadun sekä profiilin. Kohteesta saadaan samalla luotua 3D-malli, josta saadaan tulostettua suoraan muun muassa konepajakuvat. Tietomallista saadaan tulostettua myös runsaasti erilaisia tilatietoja.

Tietomallia voidaan hyödyntää suunnittelun alkuvaiheessa kohteen havainnollistamisessa, jolloin asiakkaalle välittyy jo selkeä kuva eri tilojen laadusta ja toiminnasta. Selkeä malli jouduttaa myös kaavoitus- ja rakennuslupamenettelyjä. Mallista on suuri apu myös määrä- ja kustannuslaskelmiin, joissa hyöty tulee esille nopeutena ja tarkkuutena.

Laajemmissa suunnittelukohteissa tietomalli mahdollistaa useamman suunnittelijan yhtäaikaisten työskentelyn saman kohteen parissa. Tämä ehkäisee suunnitelmassa päällekkäisyyksien syntymisen tai ainakin mahdolliset ongelmakohdat huomataan hyvissä ajoin. Hyvänä esimerkkinä ovat kantaviin rakenteisiin tehtävät läpiviennit.

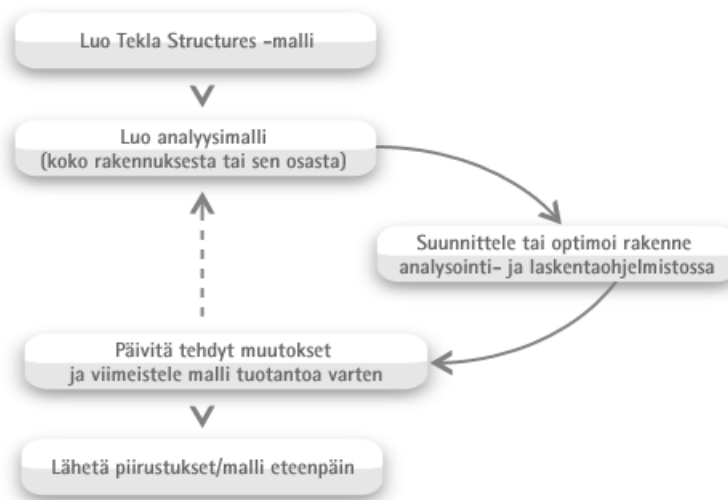
2.3 Kehitysalueet

Suurin yksittäinen ongelma tällä hetkellä on päivittäisten käyttäjien vähäinen määrä. Myöskään rakennuttajat eivät ole riittävän tietoisia tietomallin tuomista hyödyistä koko rakennusprojektia ajatellen. Huolellisesti toteutettu suunnittelu karsii monia tuotantovaiheessa ilmeneviä ongelmakohtia. Lisenssit on hinnoiteltu aggressiivisesti, mikä valitettavasti karsii mahdollisia uusia käyttäjiä.

Tarvitaan laajempaa yhteistyötä, jossa standardoidaan rajapintoja ja saadaan eri järjestelmätoimittajat noudattamaan yhteisiä pelisääntöjä. Näin voitaisiin lähestyä maailmaa, jossa tiedonhallinta ei olisi softatoimittajien pelikenttä, vaan käyttäjiä aidosti hyödyttävä kilpailutekijä. (Laitinen, 2012)

Tiedon siirtäminen on myös ongelmallinen nykyjärjestelmissä, joissa ei ole itsessään mitoitusta suorittavaa statiikkamoottoria. Rakenteiden mitoitus tehdään ulkopuolisessa ohjelmassa, jolloin virheiden mahdollisuus laskennassa kasvaa. (kuvio 2.) Osana tätäkin opinnäytetyötä luotavan Excel-pohjaisen mitoituskortin huonona puolena on juuri se, ettei se välttämättä huomioi täysin mallinnettavassa kohteessa vallitsevia ilmiöitä. (Leikas. 2011, 16.)

Kun yrityksellä on paljon yhteisiä ”jonkun suunnittelijan” tekemiä mitoituskortteja, virheiden mahdollisuus kasvaa. (Leikas, 2011, 16)



Kuvio 2. Laskentaohjelman integrointi Teklaan (Mitoittaminen, [Viitattu 4.4.2013]).

3 TEKLA STRUCTURES

3.1 Yleistä

Tekla Structures on rakennuksen tietomallinnus (BIM) -ohjelmisto, jolla voi luoda ja hallita tarkasti detaljoituja, rakentamisen prosesseja tukevia kolmi- ja neliulotteisia rakennemalleja. Tekla-mallia voi hyödyntää rakennusprosessin kaikissa vaiheissa luonnossuunnittelusta valmistukseen, pystytykseen ja rakentamisen hallintaan. (Tekla, [Viitattu 8.1.2013].)

Tekla, alkuperäiseltä nimeltään Teknillinen laskenta Oy, on suomalaisten insinööritoimistojen perustama suunnitteluohjelmisto, joka on perustettu Helsingissä 1966. Ohjelmisto luotiin vastaamaan kasvavan rakennusalan tarpeisiin. Tarkoituksena oli luoda ohjelma, jossa itse suunnittelutyö toteutettaisiin erilaisten objektien avulla pelkkien viivojen sijaan. (Teklan historia, [Viitattu 8.1.2013].)

Tekla on globaali yritys, jolla on omia toimistoja myös Euroopan ulkopuolella niin Aasiassa kuin Yhdysvalloissa, yhteensä 15 maassa, pääkonttorin sijaitessa Suomen Espoossa. Lisäksi Teklalla on asiakkaita 100 maassa. Teklan palveluksessa on yli 500 henkilöä, joista suurin osa, noin 300, työskentelee Suomessa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2010 oli lähes 58 miljoonaa euroa ja liiketulos 10 miljoonaa euroa. Vuonna 2011 Teklasta tuli osa Trimble-yhtiötä. (Tekla tänään, [Viitattu 8.1.2013].)

3.2 Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanot

Tekla Structures on saatavissa erilaisina kokoonpanoina riippuen suunnittelun tarpeesta ja suunniteltavasta kohteesta. Tällä hetkellä Tekla tarjoaa seuraavia ohjelmistokokoonpanoja: (kuvio 3.)

- Tekla Structures: Full
- Tekla Structures: Construction Management
- Tekla Structures: Steel Detailing

- Tekla Structures: Precast Concrete Detailing
- Tekla Structures: Cast in Place
- Tekla Structures: Engineering.

Lisäksi Tekla tarjoaa seuraavia moduuleja:

- Tekla Structures: Drafter
- Tekla Structures: Viewer.



Kuvio 3. Ohjelmistokokoonpanot
(Ohjelmistot, [Viitattu 5.4.2013]).

Tekla Structuresin Full-lisenssillä voidaan tarkastella ja mallintaa yksityiskohtaisesti kaikenlaisia rakenteita, ja käytössä on kaikki rakennusmateriaalit. Full-lisenssin avulla mallille voidaan tehdä myös kuormitustarkasteluja. Sillä voidaan määrittää kohteen asennusjärjestys ja hallinnoida rakennusvaiheen aikatauluja. (Ohjelmistot, [Viitattu 5.4.2013].)

Puhtaasti rakennesuunnitteluun tarkoitettuja ohjelmistokokoonpanoja ovat Steel Detailing ja Precast Concrete Detailing. Nimensä mukaisesti Steel Detailing on tarkoitettu teräsrakenteiden suunnitteluun sekä mallinnukseen. Steel Detailing lisenssillä voidaan luoda yksityiskohtaisia osaluetteloita ja kokoonpanokuvia konepajasuunnittelua varten. Precast Concrete Detailing on puolestaan betonirakenteille ja sillä saadaan luotua tarkkoja elementtidetaljeja sekä betonielementtikuvia. Cast in Place lisenssillä voidaan myös luoda raudoitekuvia ja detaljoituja betoniliitoksia työmaalla. (Ohjelmistot, [Viitattu 5.4.2013].)

Construction Management -lisenssi on tarkoitettu projektin yleiseen hallintaan. Sillä voidaan luoda simuloituja aikatauluja, määrittää elementtien

asennusjärjestyksiä, seurata projektitietoja ja hallita varsinaisen rakennusvaiheen aikataulutusta. (Ohjelmistot, [Viitattu 5.4.2013].)

Kaikkia edellä mainittuja kokoonpanoja voidaan laajentaa moduuleilla, kuten Viewer ja Drafter. Viewer soveltuu rakenteiden ja rakennusmateriaalien esittelyyn ja konsultointiin projektin aikana. Sillä voi myös luoda osaluetteloita ja tulostaa piirustuksia. Drafter-moduuli soveltuu rakennuspiirustusten viimeistelyyn ja sillä voidaan lisätä, poistaa tai muokata objekteja kuvista. (Ohjelmistot, [Viitattu 5.4.2013].)

3.3 Custom components

Tekla tarjoaa käyttäjilleen mallinnustyökalun, jonka avulla voidaan luoda esimerkiksi normaaleista levyosista monimutkaisempia rakenneosia. Tässä opinnätetyössä käsiteltävät liitokset ovat varmasti suurin käyttökohde. Custom componentin avulla monimutkainen liitos mallinnetaan kertaalleen, jonka jälkeen komponenttia voidaan helposti käyttää vastaavissa liitoskohdissa. Lisäämällä komponenttiin äly eli mahdollisuus muokata parametreja omassa käyttöliittymässä saadaan luotua itsenäinen makro.

3.4 Custom componentin editointi

Editorissa suunnittelijalla on käytössä kaikki samat mallinnustyökalut kuin normaalissakin tilassa. Lisänä ovat vain työkalut komponenttien sitomiseen toisiinsa tai ohjelman tarjoamiin rajapintoihin. Jokaisessa kappaleessa on niin sanottuja handle-pisteitä, joille määritetään etäisyys tietystä tasosta. Komponentit tulee sitoa toisiinsa jollakin tavalla, jotta myöhemmin erinäisiä parametreja muutettaessa makro pysyisi koossa.

4 ÄLYKKÄÄN MAKRON LUONTI

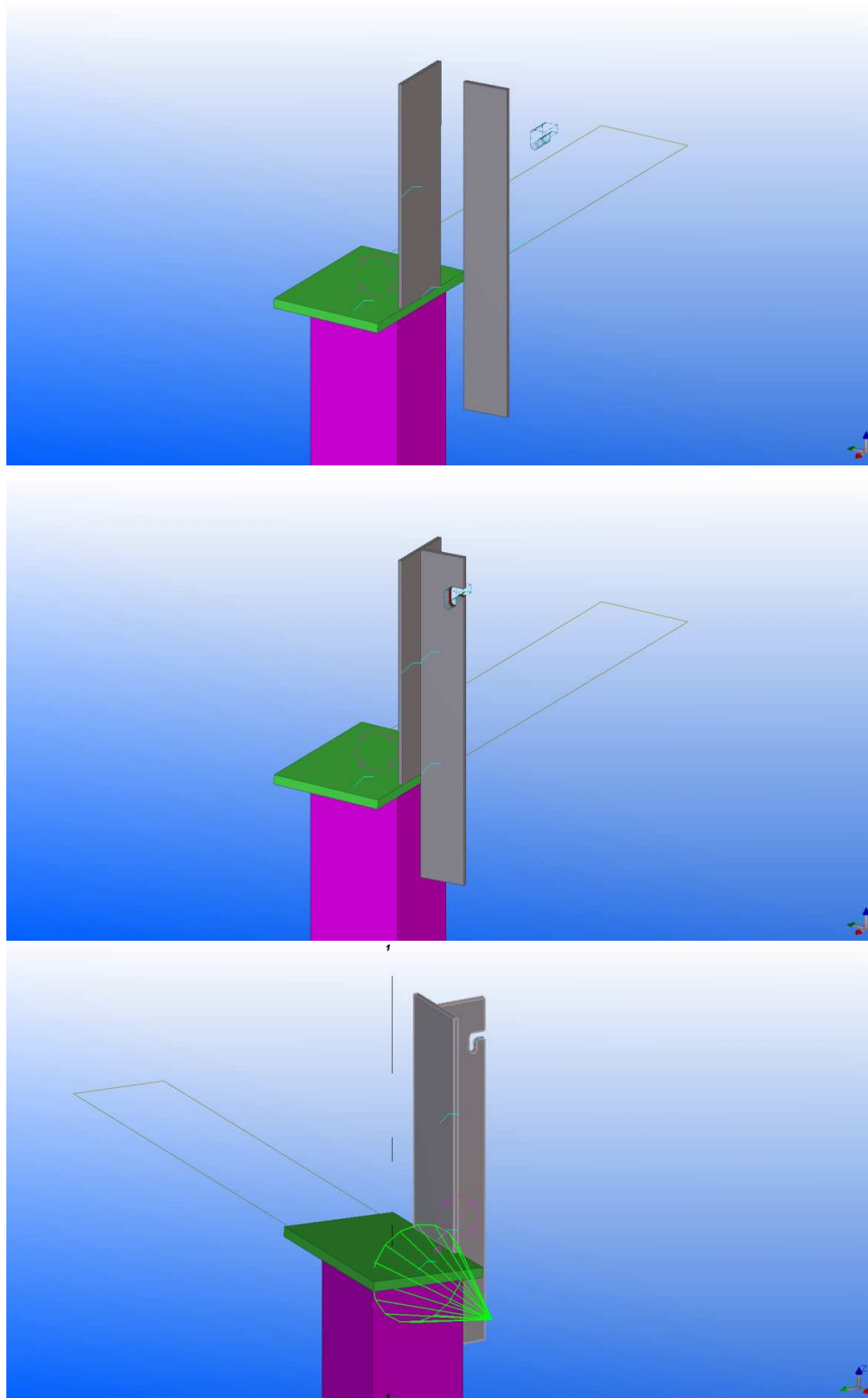
4.1 Liitoksen mallinnus

Makron luonti lähtee liikkeelle mallintamalla haluttu liitos tai detalji käyttäen erilaisia levyosia, aukkoja, pultteja sekä hitsejä. Vaihtoehtoisesti voidaan myös räjäyttää valmis makro osiin ja muokata sitä halutulla tavalla. Kummassakin tapauksessa itse mallinnuksen jälkeen tehtävät vaiheet ovat samat. Valmiita makroja kannattaa työn nopeuttamisen kannalta käyttää, mikäli mahdollista.

Mallinnusvaiheessa tärkeintä on osien kiinnitys toisiinsa, eli hitsien ja pulttien luonti. Näitä pystytään muokkaamaan jatkossa, ja lisäämäänkin tarvittaessa, mutta helpoimmalla päästään, kun ne on tehty ennen kuin mallista luodaan custom-komponentti. Kappaleiden tarkoilla mitoilla ei ole niin väliä, koska niille voidaan antaa helposti uusia arvoja editorin puolella.

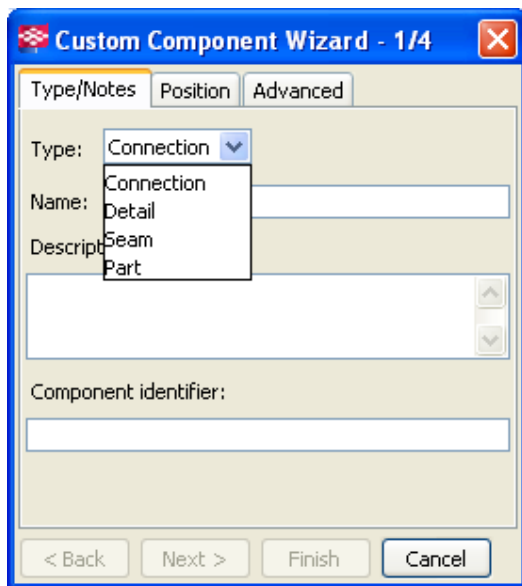
Yksinkertaisimmillaan makro sisältää vain muutamia komponentteja, joiden muuttujia voidaan lopullisessa käyttöliittymässä muokata. Hyviä esimerkkejä yksinkertaisista, mutta kohdetta mallintaessa toistoja vaativista makroista on pääty- ja jäykistelevyt sekä esimerkin mukainen kuorituki. (kuvio 4.)

Kun mallinnettava kohde on halutunlainen, luodaan näistä yksittäisistä osista kokonainen malli. Tuon mallin saa luotua valikosta *Detailing – Component – Define Custom Component*. Seuraavaksi aukeaa 4-vaiheinen ikkuna, Custom Component Wizard, johon voidaan syöttää halutut lähtötiedot mm. komponentin tyyppi ja nimi. (kuvio 5.) Advanced-välilehden takaa löytyvät työkalut komponentin sijoittumiseen suhteessa pääkappaleeseen. Näitä tietoja pääsee muokkaamaan myös myöhemmässä vaiheessa.



Kuvio 4. Kuorituen komponentit ja mallinnuksen vaiheet (Tekla Structures 17.0).

Custom Component Wizard (kuvio 5.) ohjaa käyttäjää ja pyytää seuraavissa vaiheissa näyttämään osat, joista komponentti muodostuu, pääosan ja mahdolliset sekundääriosat sekä sijoituspisteen kuvassa. Tämän jälkeen ohjelma luo valintojen perusteella makron, jota käyttäjä pystyy jo halutessaan käyttämään. Makro ei sisällä älyä, eli sen komponenttien tietoja ei pysty muuttamaan, ja kyseinen makro toimii vain samanlaisissa tilanteissa, jonka avulla se on luotu. Tämä johtuu siitä, että osien handle-pisteitä ei ole vielä sidottu mihinkään.

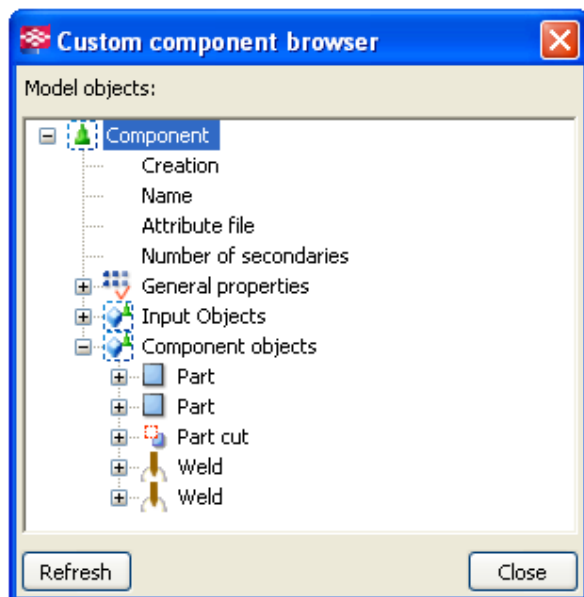


Kuvio 5. Custom Component Wizardin aloitusnäkö (Tekla Structures 17.0, Custom Component Editor).

4.2 Komponenttien editointi

Editori avaa käyttäjälle neljä uutta ikkunaan, joissa mallia voi tarkastella lähemmin ja joihin kaikki muutokset päivittyvät. Näin päästään tarkastelemaan liitosta samanaikaisesti ylhäältä, sivusta, edestä sekä 3D-perspektiivistä. On huomioitava että taustalle jäävät auki myös mallinnuksessa käytössä olleet näkymät, mutta komponenttien muokkaus onnistuu vain näissä editorin kanssa auenneissa ikkunoissa.

Itse editointipalkki on varsin yksinkertainen (Kuvio 6.). Palkin tärkeimmät ominaisuudet ovat Variables-ikkuna, Custom component browser sekä



Kuvio 8. Custom component browser
(Tekla Structures 17.0, Custom Component Editor).

4.3 ”Älyn” lisääminen makroon

Ennen jatkamista kannattaa tässä vaiheessa viimeistään tehdä makrolle rajaukset ja tarkemmat suunnitelmat siitä, mitkä parametrit halutaan muuttuviksi. Ilman kunnollista suunnittelua variables-ikkunasta löytyy pian toista sataa riviä erilaisia parametreja ja handle-pisteiden etäisyyksiä. Makron toiminnan kannalta on tärkeätä muistaa kolme asiaa. Ensiksi se, että makron tulee pystyä muuntautumaan eri profiilien mukaan. Lisäksi eri osien tulee toimia yhdessä, kun käyttäjä muuttaa jotakin parametrin arvoa. Viimeisenä käytettävyyden tulee olla sujuvaa ja selkeää.

Kuten on jo todettu, makron sisältämä äly on käytännössä osien eri handle-pisteiden sitomista haluttuun rajapintaan. Suorakaiteen muotoisilla levyosilla on joko kaksi (pituussuunnassa kummassakin päädyssä) tai neljä (jokaisessa kulmassa) sidottavaa pistettä. Makron toiminnan varmistamisen kannalta jokainen piste tulisi sitoa kaikkiin suuntiin xyz-koordinaatistossa. Pisteiden sitomisen tarve kannattaa kuitenkin harkita makrokohtaisesti, sillä useasti pisteen sitominen yhteen suuntaan on riittävä.

Mallina oleva kuorituki on hyvä esimerkki yksinkertaisuutensa ansiosta. Sen variables-ikkuna sisälsi vain reilut 20 riviä muuttujia, ja makro rakentui viidestä eri komponentista. Mutta jo näillä saatiin aikaiseksi toimiva makro, jonka mittatietoja ja osien lujuuksia suunnittelija pääsee muokkaamaan. Lisäksi makroa on suunniteltu myös turvallisuuden kannalta ja siihen on sisällytetty mahdollisuus valita turvakaiteelle sopiva asennuskolo.

Variables-ikkunan parametrejä on kahdenlaisia, P- ja D-alkuisia. D-alkuiset syntyvät automaattisesti handle-pisteitä ankkuroitaessa. P-alkuiset puolestaan ovat käyttäjän itse lisäämiä, joille voidaan määrittää arvoja Custom component browser -ikkunasta. Käyttäjä voi muokata myös D-alkuisia parametreja. Kaikki formula-kohtaan tehtävät muutokset päivittyvät automaattisesti editointi -työkalun ikkunoihin.

4.4 Makron ulkoasu

Luodulle makrolle voidaan tehdä erillinen käyttöliittymä helpottamaan ja ennen kaikkea selkeyttämään sen käyttöä. Käyttöliittymään voidaan esimerkiksi lisätä uusia välilehtiä, joille tieto on helpompi jäsentää, sekä kuvia selkeyttämään kysyttyjä parametreja. Muokkaaminen tapahtuu makron INP-tiedostossa (kuvio 9.). Tekla on julkaissut omana koulutusmateriaalinaan Custom Component Editing -oppaan, jossa on selkeästi esitetty INP-tiedostojen muokkaaminen.

Käyttöliittymä toimii xy-koordinaatiston pohjalta, joten INP-tiedostoon syötettävä tieto pitää sijoittaa tähän koordinaatistoon (kuvio 10.). Liitettävien kuvien tulee olla bitmap-muodossa. Värimaailman käyttäjä saa toki itse päättää, mutta siistin ulkoasun saa helpoiten kopioimalla värit toisesta makrosta. Kuvat kannattaa kopioida aina vastaavanlaisesta valmiista makrosta, jos vain mahdollista. Opinnäytetyön kohdalla näin ei ollut, joten käyttöliittymien kuvat on toteutettu Paint-ohjelmalla viivapiirtona.

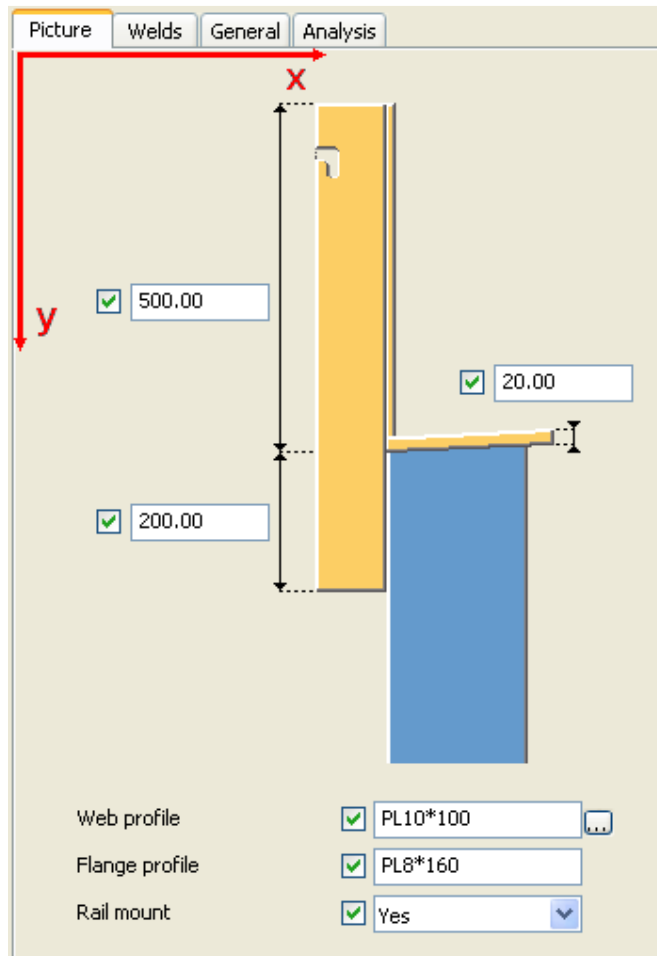
```

page("Teklastructures","")
{
  detail(1, "T_teras")
  {
    tab_page("", " Picture ", 1)
    {
      picture ("T_teras", 170, 363, 300, 20)
      parameter("web profile", "P3", profile, text, 375, 470, 150)
      parameter("Flange profile", "P6", profile, text, 375, 500, 150)
      parameter("", "P8", material, text, 600, 470, 150)
      parameter("Material", "P9", material, text, 600, 500, 150)
      parameter("Rail mount", "P10", YesNo, number, 375, 530, 150)
      parameter("", "D3", distance, number, 200, 280, 100)
      parameter("", "D5", distance, number, 200, 140, 100)
      parameter("", "D6", distance, number, 580, 225, 70)
    }
    tab_page("", " welds ", 2)
    {
      parameter("T steel to beam", "P1", weld_type, number, 375, 10, 150)
      parameter("", "P4", weld_type, number, 375, 40, 150)
      parameter("", "P2", distance, number, 600, 10, 100)
      parameter("", "P5", distance, number, 600, 40, 100)
      parameter("web to flange", "P11", weld_type, number, 375, 90, 150)
      parameter("", "P12", weld_type, number, 375, 120, 150)
      parameter("", "P13", distance, number, 600, 90, 100)
      parameter("", "P14", distance, number, 600, 120, 100)
    }
  }
}

```

Kuvio 9. Esimerkki muokatusta INP-tiedostosta.

Mitä isomman käyttäjämäärän työkaluksi makro luodaan, sitä enemmän INP-tiedoston ja käyttöliittymän ulkoasun hiomiseen tulisi aikaa käyttää. Jokaisen käyttäjän tulisi ymmärtää käyttöliittymän ominaisuudet, ja pystyä tehokkaasti käyttämään tätä mallinnuksessa.



Kuvio 10. xy-koordinaatisto käyttöliittymässä (Tekla Structures 17.0).

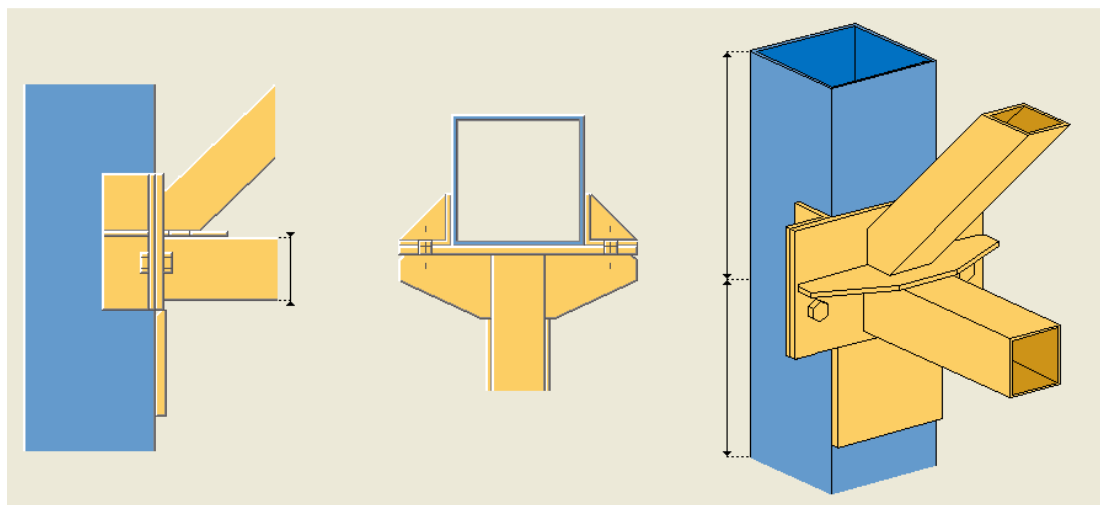
4.5 Testaus

Makron toiminta kannattaa testata huolella ennen ulkoasun muokkaamista, koska myöhemmässä vaiheessa tehtävät korjaukset pyyhkivät tehdyt muutokset INP-tiedostosta. Tästä syystä INP-tiedoston varmuuskopiointi on suositeltavaa aina, kun siihen tehdään muutoksia. Testaus kannattaa suorittaa useammalla käyttäjällä ja pyytää käytettävyydestä ja eri toiminnoista suoraa palautetta.

5 LIITOKSEN LASKENTAMALLI

5.1 Yleistä

Laskentamalli toteutetaan Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Malli laskee käyttäjän syöttämiin lähtötietoihin perustuen automaattisesti liitoksen käyttöasteen, sopivat levyosat sekä hitsit. Kaikki laskelmat perustuvat yleiseurooppalaiseen suunnitteluohjeeseen Eurocode 3:een, (Teräsrakenteet: EN 1993-1, osat 1-12) sekä sen kansalliseen liitteeseen.



Kuvio 11. Esimerkkiliitos, johon laskenta on tehty (Tekla Structures 17.0).

5.2 Laskentapohjat

Toteutetussa mallissa käyttäjän syöttämät tiedot ovat tunnetut kuormat (V_{Ed} , N_{Ed}), pilarin ja ristikon alapaarten profiili sekä lujuusluokka (perustuen standardiin EN 10025-2) ja ruuvien koko, määrä sekä lujuus. Nämä tiedot käyttäjä täyttää mallin Lähtötiedot-välilehdelle. Täytettävät solut ovat väriltään vaaleansinisiä tai solun arvo valitaan alasvetovalikosta. Oranssit solut täydentyvät automaattisesti annettujen tietojen pohjalta ja ovat lukittuja käyttäjältä. (liite 1.)

Laskentapohjan joihinkin soluihin on lisätty kommentteja auttamaan mallin käyttäjää. Excel-ikkunassa punainen kolmio solun oikeassa yläreunassa on merkki siitä, että solu sisältää lisäinfoa ja ohjeita solun täytöstä. Ohjeet tulevat näkyviin viemällä kursori solussa olevan punaisen kolmion päälle.

Kaikki laskutoimitukset on sijoitettu Laskenta-välilehdelle, joten mahdollisten virheiden korjaus tai pohjan jatkokehittäminen onnistuu helposti. Kaavojen yhteydestä löytyvät viitteet eurokoodin oikeaan kohtaan. Laskentaa on pyritty selkeyttämään numeroimalla kaavat ja jakamalla liitoksessa vaikuttavat voimat erikseen leikkaaviin sekä vetäviin/puristaviin voimiin. Virheiden välttämiseksi pohja ilmoittaa selkeästi, mikäli laskuissa käyttöaste ylittyy. (liite 2.)

Pohjassa on myös Tulostus-välilehti, josta löytyvät kaikki tiedot kootusti siistin ulkoasun alta. Tämäkin välilehti on jaoteltu pienempiin osiin, jotta tiedot olisi esitetty mahdollisimman selkeästi. Lähtötietoihin on koottu vaikuttavat voimat, valittujen terästen lujuudet, liittimien sekä hitsien tiedot. Tulokset kohtaan on taulukoitu laskennasta saadut tiedot ja eri kestävyyksien käyttöasteet. Lisäksi liitoksen lopullinen käyttöaste on esitetty selkeästi erikseen. Pohja ilmoittaa vielä tulostussivulla mahdollisesta käyttöasteen ylityksestä. Tämä on vain varmistuksena sille, ettei virheellisiä laskuja pääse tapahtumaan. (liite 3.)

Lisäksi laskentapohja sisältää laskuissa tarvittavaa dataa useammalla eri välilehdellä. Mukana on myös Ruukin rakenneputkitaulukko, josta löytyvät tiedot yleisimpiin profiileihin. Laskentapohja osaa hakea käyttäjän syöttämien mittojen mukaan oikean profiilin tästä taulukosta ja hyödyntää taulukon tietoja laskuissa. Kulmaterästen tiedot on samoin taulukoitu Kontinon tuotetietojen mukaan.

5.3 Komponenttien mitoitus

Esimerkkiliitoksessa ruuveihin vaikuttaa ainoastaan suora veto, joten mitoitus perustuu normaalivoiman N_{Ed} arvoon. Osa hitseistä, kuten L-teräkset, mitoitetaan samoin ainoastaan vedolle. Vastaavasti pilarin kylkeen hitsattavan tukilevyn tehtävä on ottaa vastaan liitoksessa pystysuuntainen kuorma eli leikkausvoima V_{Ed} . Jäykistävien levyjen tehtävä on estää vedosta syntyvän vipuvoiman

aiheuttama muodonmuutos päätylevyssä. Jäykistelevyllä varmistetaan myös, ettei ristikon diagonaalisauva lävistä alapaarretta. Mitoitus tapahtuu Eurocode 3 - suunnitteluohjeen mukaan.

5.3.1 Levyosat

Käytettävien levyosien lujuusluokan tulee olla standardin EN 10025-2 (seostamattomat rakenneteräkset) mukaisia ja vähintään heikoimman liitokseen valitun profiilin lujuuden mukaisia. Suositeltavaa on kuitenkin valita lujuudeksi S355. Päätylevyn tulee kestää niin puristus- kuin vetorasitusta. Vetävä voima synnyttää päätylevyyn myös vipuvoimia, jotka pyrkivät aiheuttamaan muodonmuutoksen päätylevyssä. Muodonmuutos pyritään estämään liitoksessa jäykistelevyllä, joka kasvattaa päätylevyn taivutusvastusta. Käytännössä vipuvoimia ei pääse syntymään, kun liitoksessa on käytetty jäykistelevyä, mutta vipuvoimat tarkistetaan silti laskennassa.

Vipuvoimat tarkistetaan laskentamallissa seuraavalla yksinkertaistetulla kaavalla, joka pohjautuu eurokoodiin.

$$F_t = \frac{F}{2} + Q \quad (1)$$

missä

F on liitosta rasittava voima

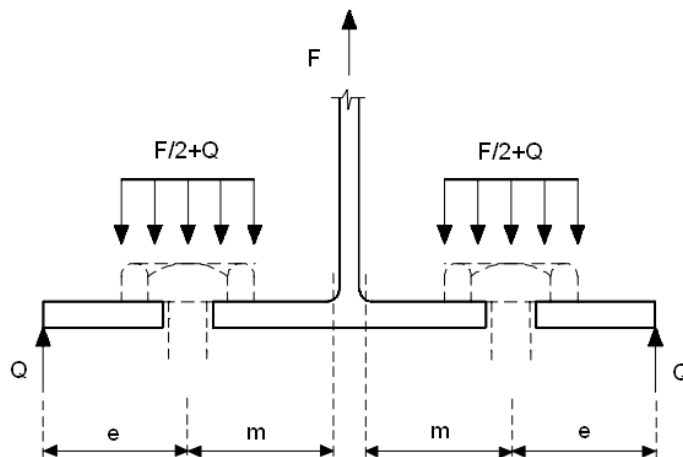
Q on vedosta aiheutuva vipuvoima

$$\text{kun } \frac{F}{2}m > M_{pl,1} \rightarrow Q = \frac{\frac{F}{2}m - M_{pl,1}}{e} \leq \frac{M_{pl,2}}{e}$$

$$\text{kun } \frac{F}{2}m \leq M_{pl,1} \rightarrow Q = 0$$

(Saarinen, 2009)

Täten vipuvoiman suuruus riippuu ruuvien sijainnista sekä osien jäykkyydestä. Murtumistapoja on kaksi, joko levy myötää syntyneen plastisen nivelen seurauksena aivan liitoskohdan juuresta tai ruuvien kohdasta, tai ruuvien vetomurtona. (Saarinen, 2009)



Kuvio 12. Vipuvoima Q.

Jäykistelevyllä on muodonmuutoksen estämisen lisäksi toinenkin funktio eli se estää diagonaalin läpileikkautumisen alapaarteesta. Alapaarten pinnan myötäämisen kaava on Rakenneputket-käsikirjan esimerkin 3.1 mukainen. (kuvio 13.)

$$N_{1,Rd} = 0,9 * \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5} \quad (2)$$

missä

f_y on alapaarten myötörajan nimellisarvo

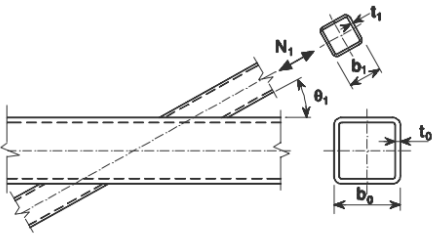
t_0 on alapaarten seinämän paksuus

β on diagonaalin ja alapaarten leveyden suhde

γ_{M5} on rakenneputkien osavarmuusluku ristikoissa

$$k_n = 1,3 - 0,4n/\beta$$

(Ruukki rakenneputket, EN 1993 -käsikirja 2012, 170.)

Liitostyyppi	Kestävyyden mitoitusarvo [$i = 1$ tai 2 , $j =$ limitetty uumasauva]
T-, Y- ja X-liitokset	Paarteen pinnan murtuminen $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$

Kuvio 13. Rakenneputkien välisten liitosten kestävyyksien mitoitusarvo (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 7.10).

5.3.2 Ruuvit

Liitoksessa käytettävien ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen tulee olla Eurocoden EN 1993-1-8 sisältämien viitestandardien mukaisia. Suomen kansallisen liitteen suositusten mukaisesti liitoksessa on käyttäjän valittavissa vain lujuusluokat 8.8 ja 10.9. Koska ruuvit mitoitetaan pelkälle vedolle saadaan tarkistettavat suureet kiinnitysluokka E:n mukaan seuraavien mitoitusehtojen perusteella:

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} \quad (\text{Ruuvien vetokestävyyden tarkastelu})$$

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd} \quad (\text{Ruuvien lävistymiskestävyyden tarkastelu})$$

(SFS-EN 1993-1-8:2005, 22-23.)

Vetävän voiman mitoitusarvoon $F_{t,Ed}$ ei tarvitse huomioida vipuvoimaa Q , koska jäykistelevyllä varmistetaan riittävä plastinen taivutusvastus liitokselle.

Laskentapohjassa käytetty ruuvien vetokestävyyden kaava:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

missä

k_2 on 0,9

f_{ub} on ruuvien nimellinen murtolujuus

A_s on ruuvien jännityspinta-ala

γ_{M2} on liitososien osavarmuusluku

(SFS-EN 1993-1-8: Taulukko 3.2.)

Eurokoodin ohjeiden mukaan $k_2=0,63$ uppokantaisille ruuveille, ja 0,9 muille tapauksille. Kaavassa on käytetty vakiona arvoa 0,9, koska oletetaan, että ruuvit eivät tässä tapauksessa ole uppokantaisia.

Laskentapohjassa on käytetty lävistymiskestävyyden kaavaa:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4)$$

missä

d_m on lävistymishalkaisija

t_p on laipan paksuus

f_u on laipan nimellinen murtolujuus

γ_{M2} on liitososien osavarmuusluku

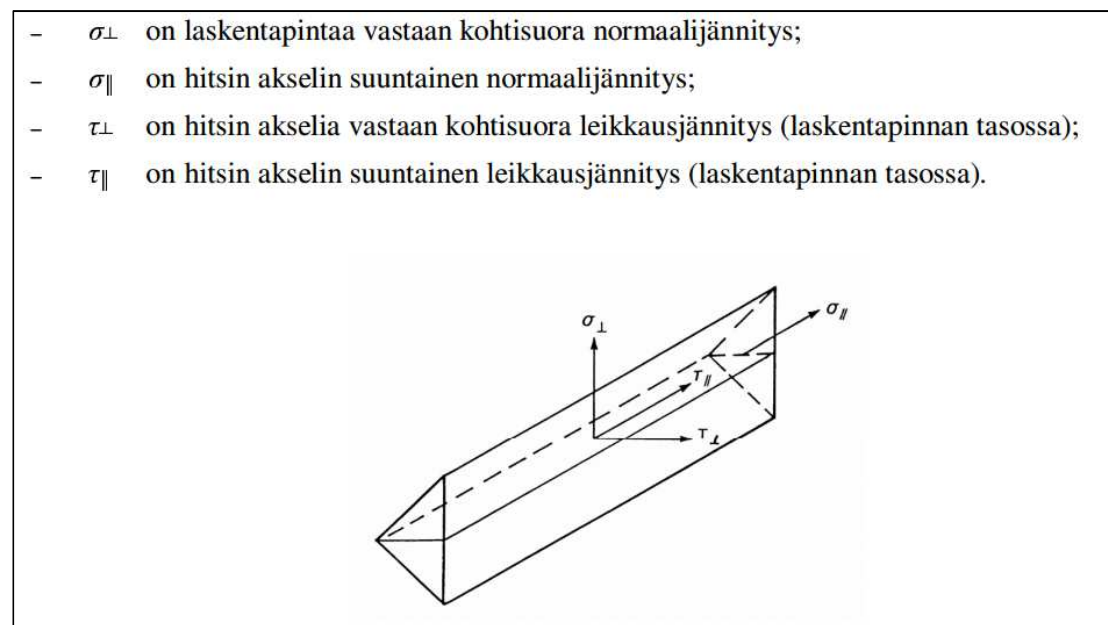
(SFS-EN 1993-1-8: Taulukko 3.2.)

Käytännössä ruuvien vetokestävyys tulee näistä kahdesta mitoittavasta arvosta aina määrääväksi, mutta laskentapohja tarkistaa silti molemmat arvot.

5.3.3 Hitsit

Liitettävien osien (levyt ja rakenneputket), hitsausmenetelmien ja käytettävien hitsausaineiden tulee olla eurokoodin EN 1993-1-8 sisältämien viitestandardien mukaisia. Levyillä ainepaksuuden tulee olla vähintään 4 mm ja rakenneputkien seinämäpaksuuden oltava vähintään 2,5 mm, kun käytetään yleisimpiä lisäaineellisia kaarihitsausmenetelmiä, kuten puikkohitsausta, MIG-/MAG-hitsausta tai jauhekaarihitsausta. Hitsausaineiden myötö- ja murtolujuuden tulee olla vähintään heikomman hitsattavan perusaineen mukaiset. (SFS-EN 1993-1-8:2005, 41.)

Laskentapohjan hitsien mitoitus perustuu SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.5.3.2 mukaiseen komponenttimenetelmään. Hitsissä vaikuttavat voimat jaetaan akseleiden suuntaisiin komponentteihin. Nämä komponentit ovat hitsin pituussuuntaisen akselin suhteen yhdensuuntaiset, sekä akselia vastaan kohtisuorat normaali- ja leikkausjännitykset. (kuvio 14.)



Kuvio 14. Pienahitsin jännitykset
(SFS-EN 1993-1-8, kuva 5.4).

Päätylevyn hitsi alapaarteeseen on mitoitettu siten, että se on vähintään yhtä luja alapaarteen plastisen vetokestävyyden kanssa, kuten Rakenneputket-käsikirjan luvun 3 esimerkissä 3.13. (Ruukki rakenneputket, EN 1993 -käsikirja 2012, 215.)

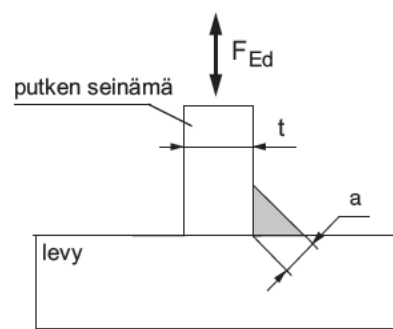
$$a \geq t_1 * 1,36 \quad (\text{ks. Taulukko 1.})$$

Voimia siirtävän pienahitsin a-mitan tulee olla kuitenkin vähintään 3 mm. Lisäksi hitsin tehollisen pituuden tulee olla vähintään 30 mm tai 6 kertaa a-mitta. (SFS-EN 1993-1-8:2005, 44-45.)

Malli laskee myös hitsin a-mitalle viitteellisen maksimiarvon, joka vastaa ohuemman liitettävän osan leikkauskestävyyttä. Laskentapohja ei huomioi lamellirepeytymistä.

Taulukko 1. Eri lujuusluokkien väliset hitsit, kun liitokseen kohdistuu vain suoraa vetoa tai puristusta.

(Ruukki rakenneputket, EN 1993 -käsikirja 2012, 206).

	Levy		Hitsin a-mitta ^{b)}	
	Teräslaji	Murtolujuus ^{a)} f_u (N/mm ²)	Rakenneputki S355H	Rakenneputki S420MH
	S235	360	1,39 · t	1,65 · t
	S275	430	1,24 · t	1,48 · t
	S355	490	1,15 · t	1,36 · t
	S275N	390	1,37 · t	1,62 · t
	S355N	490	1,15 · t	1,36 · t
	S420N	520	1,11 · t	1,48 · t
	S460N	540	1,11 · t	1,48 · t
	S275M	370	1,44 · t	1,71 · t
	S355M	470	1,20 · t	1,42 · t
	S420M	520	1,11 · t	1,48 · t
	S460M	540	1,11 · t	1,48 · t

a) Eurocoden osassa EN 1993-1-1 esitetyt standardin EN 10025 mukaisten lujuusluokkien S235-S460 levyterästen vetomurtolujuuden nimellisarvot, kun $t \leq 40$ mm.
b) Kuitenkin vähintään $a \geq 3$ mm.

L-teräksen ja pilarin välisen hitsin kestävyys on varmistettu yksinkertaistetulla menetelmällä, jossa voimaresultatin suuntaa ei tarvitse tietää. Seurauksena hitsi on hieman ylimitoitettu riippuen voiman todellisesta suunnasta. (Ruukki rakenneputket, EN 1993 -käsikirja 2012, 201.)

$$f_{vw,d} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (5)$$

missä

f_u on heikoimman liitettävän osan murtolujuus

β_w on lujuuskerroin

γ_{M2} on liitososien osavarmuusluku

(Ruukki rakenneputket, EN 1993 -käsikirja 2012, 201.)

Tukilevyt hitsataan ympäröiviin osiin oletusarvoisesti 3 mm pienahitsillä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda Tekla Structures -ohjelmistoon liitosmakroja custom components -työkalulla sekä näille liitoksille laskentapohjat Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Tavoitteena oli selkeyttää ja nopeuttaa suunnittelua sekä kohteen mallinnusta laajemmissa hankkeissa. Lisäksi yksilöllisellä tasolla tavoitteena oli syventää Teklan osaamista ja perehtyä Custom Componenttien luontiin.

Tämä työ vei huomattavasti enemmän aikaa kuin mitä etukäteen olin suunnitellut, johtuen osaksi toisen makron monimutkaisuudesta ja muuttujien suuresta määrästä. Myös Excel-laskentapohjan teossa oli ongelmia, mutta ne olivat enemmän ulkoisiin asioihin ja käyttömukavuuteen liittyviä kuin itse laskentaan. Osaltaan työn valmistumista pitkitti myös laskentapohjan tarkistus. Tässä voisi olla myös mahdollinen kehittämisen paikka, sillä Mathcadin tarjoama kaavapohjainen laskentamalli on huomattavasti helpommin tulkittava ja ennenkaikkea helpommin tarkastettava kuin Excelin taulukkolaskentapohja.

Laskentapohjan integroimiseksi Tekla Structuresiin Excel tarjoaa tosin paremmat lähtökohdat, sillä Teklan Open API -rajapinta on toteutettu Microsoftin .NET-tekniikan avulla, johon myös MS Officen ohjelmat pohjautuvat. Jotta dataa saataisiin siirrettyä vastaavasti Mathcadistä, ohjelmien välille täytyisi luoda yhteys erikseen Microsoftin Visual Studio -ohjelmistoa käyttäen. Kun laskentapohja on linkitetty Teklaan päivittyvät mallissa tehtävät muutokset, esimerkiksi pilarin profiilin muuttaminen, suoraan laskentapohjaan. Näin laskennasta saataisiin karsittua mahdollisia virheitä.

Mitoituksen yksinkertaistamisen kannalta tuo edellä mainittu laskentapohjien integrointi olisi ideaali tapa, koska komponenttien tiedot siirtyisivät automaattisesti laskentapohjaan. Tässä työssä mitoitusta pyrittiin yksinkertaistamaan lisäämällä automaatiota laskentapohjassa, ja minimoimaan käyttäjän syöttämät tiedot. Laskentapohjaa voisi kehittää entisestään lisäämällä profiileille kestävyys raja-arvoja tai sisällyttämällä pohjaan liitoksen automaattisen optimoinnin perustuen osien käyttöasteisiin.

Itse makron kanssa kehitettävää löytyy vielä varmasti, ja toivonkin saavani palautetta työyhteisöltä tämän työn pohjalta, kuinka jatkokehittää jo luotuja makroja ja mahdollisesti tulevia. Helppokäyttöisyys on tietenkin tärkeimpänä prioriteettinä, muutenhan luodut apuvälineet jäävät käyttämättä. Suurin pohjatyö makrojen luonnin suhteen on nyt kuitenkin tehty, jatkossa odotetaan siis uusia ideoita, kuinka hyödyntää tätä osaamista.

Eurokoodeihin pohjautuvan mitoituksen monimutkaisuus tuli hyvin esille tässä työssä, ja joiltain osin jouduttiin tekemään kompromisseja sen suhteen, mitä asioita laskentapohjaan lopulta tuli. Pohja ei esimerkiksi ota kantaa lamellirepeytymiseen, päätylevyn palamurtumiseen eikä pohjaan voi syöttää yli 40 mm paksuisia levyosia, koska malliin ei ole sisällytetty näiden pienennystekijöitä. Myöskin käytettävät teräslaadut on rajattu yleisimpiin S235 – S420.

Lopuksi haluan kiittää koulun puolelta mukana olleita opettajia, vastaavaa ohjaajaa Viljanmaan Maritaa, laskentapuolen tarkastanutta Perälän Marttia sekä Excel- taulukoiden käytössä auttanutta Paanasen Juhania. Lisäksi iso kiitos Contria Oy:lle lämpimästä vastaanotosta ja mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö. Contrian sisällä suurin kiitos kuuluu toimialajohtaja Jarkko Mannersuolle, joka on auttanut itse varsinaisessa työssä ja toiminut henkisenä tukena työn eri vaiheissa. Kiitos myös jokaiselle Contrian Seinäjoen työpisteessä työskentelevälle, joilta on aina saanut apua ongelmatilanteissa.

LÄHTEET

Contria, 2013. Contria Oy. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.2.2013]. Saatavana: <http://www.contria.fi/fi/etusivu>

Laitinen, J. 2012. Lean ja BIM yhdessä tuottavat lisäarvoa. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. [Viitattu 4.4.2013]. Saatavana: http://www.ril.fi/media/files/tietomallit/ril_laitinen.pdf

Leikas, V. 2011. Pilarin jatkosliitoksen mitoitus ja mallintaminen. Saimaan ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, rakennusalan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Julkaisematon, 16.

Mitoittaminen. Tekla Oy [Verkkosivu]. [Viitattu 4.4.2013]. Saatavana: <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/structural-engineers/integration-with-A-D/Pages/Default.aspx>

Ohjelmistot. Tekla Oy [Verkkosivu]. [Viitattu 5.4.2013]. Saatavana: <http://www.tekla.com/FI/PRODUCTS/TEKLA-STRUCTURES/Pages/Default.aspx>

Ruukki rakenneputket, EN 1993 -käsikirja 2012. Saatavana myös: https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012_PDF-versio.pdf

Saarinen, E. 2009. Seamk kurssimateriaali, E-koodeilla kilpailukykyä. Ruuvikiinnitykset, 12–13.

SFS-EN 1993-1-8:2005. Suomenkielinen käännös 16.10.2006. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-1:2005. Suomenkielinen käännös 16.10.2006. Eurocode3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-5:2005. Suomenkielinen käännös 16.10.2006. Eurocode3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Levyrakenteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Tekla. Tekla Oy [Verkkosivu]. [Viitattu 8.1.2013]. Saatavana: <http://www.tekla.com/fi/products/tekla-structures/Pages/Default.aspx>

Teklan historia. Tekla Oy [Verkkosivu]. [Viitattu 8.1.2013]. Saatavana: <http://www.tekla.com/fi/about-us/history/Pages/Default.aspx>

Tekla tänään. Tekla Oy [Verkkosivu]. [Viitattu 8.1.2013]. Saatavana:
http://www.tekla.com/fi/investors/financials/releases/pages/1584648_20120210133127.aspx

Tietomalli. Tekla Oy [Verkkosivu]. [Viitattu 7.1.2013]. Saatavana:
<http://www.tekla.com/FI/SOLUTIONS/BUILDING-CONSTRUCTION/STRUCTURAL-ENGINEERS/Pages/Default.aspx>

LIITTEET


LIITE 1. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan - Lähtötiedot

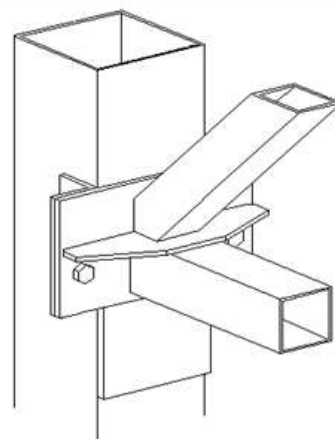
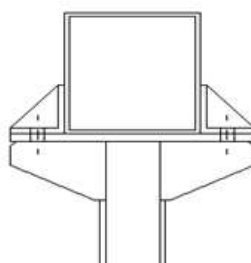
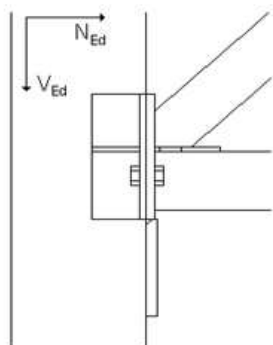
LIITE 2. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan - Laskenta

LIITE 3. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan - Tulosteet

LIITE 4. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan - Vuokaavio

LIITE 1. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan – Lähtötiedot

		Rakennelaskelma, lähtötiedot	
		Tekijä:	Sivu: 1 (2)
Rakennuskohde:		Päiväys:	
Työ no:		Sisältö:	Sijainti:
Pilari_riskikko_laskentamalli			
Versio 1.01			
Lähtötiedot:			



Kuva. Esimerkkimalli liitoksesta.

Kuorma		
V_{Ed}	100	kN
N_{Ed}	30	kN

Teräs EN 10025-2		
Pilari	S355	
	f_u	510 N/mm ²
	f_y	355 N/mm ²
Ristikko	S355	
	f_u	510 N/mm ²
	f_y	355 N/mm ²
Pääty-, kannake-, Jäykiste levy	S355	
	f_u	490 N/mm ²
	f_y	355 N/mm ²
L-Teräs	S235	
	f_u	360 N/mm ²
	f_y	235 N/mm ²

Ruuvit

Ruuvi	M30	▼
Halkaisija	d=	30 mm
Reijän koko	d ₀ =	33 mm
Ruuvien määrä	n=	2 kpl
Bruttoala	A=	707 mm ²
Jännitys poikkipinta-ala	A _s =	561 mm ²
Lujuus	10.9	▼
	f _{yk} =	900 N/mm ²
	f _{td} =	1000 N/mm ²

Hitsit

Päätylevy-Ristikko	a=	7 mm
	a _{max} =	8 mm
L-teräs-Pilari	a=	5 mm
	a _{max} =	9 mm
Kannake-Pilari	a=	5 mm
	a _{max} =	9 mm

Kaikkien hitsien lähtöarvona a=3mm

Profiili ja mittatiedot

Pilari	h x b x t (mm)	250	x	250	x	12
Alapäärre	h x b x t (mm)	120	x	120	x	10
Diagonaali	h x b x t (mm)	100	x	100	x	6
L-teräs	h x b x t (mm)	100x100x12 ▼				
Päätylevy	h x b x t (mm)	190	x	450	x	20
Jäykistelevy	h x b x t (mm)	142	x	450	x	20
Kannakelevy	h x b x t (mm)	200	x	194	x	30

LIITE 2. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan – Laskenta

Leikkaavat voimat V_{ed}

1. Alapaarteen plastinen leikkauskestävyys

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$= 1247,2 \text{ kN} \quad \geq \quad 100 \text{ kN}$$

EN 1993-1-1 (6.18)

OK
8,0 %

Leikkauspinta-ala kun neliö- tai suorakaideprofiili

$$A_v = \frac{A h}{b + h}$$

$$= 2028,3 \text{ mm}^2$$

EN 1993-1-1 (6.18)

2. Alapaarteen ja päätylevyn hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$= 251,47$$

EN 1993-1-8 (4.4)

$$F_{w,Rd1} = f_{vw,d} * a * 2 h_r$$

$$= 422,5 \text{ kN} \quad \geq \quad 100 \text{ kN}$$

OK
23,7 %

3. Päätylevyn mitat ja puristuskestävyys

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 1377,4 \text{ kN} \quad \geq \quad 100 \text{ kN}$$

EN 1993-1-1 (6.6)

OK
7,3 %

Lommahduksen estämiseksi päätylevyn minimiarvo tarkistettava

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{f_y / \sigma_{cr}} = \frac{\bar{b} / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

EN 1993-1-5 (4.3)

Lommahdusta ei tapahdu jos (Kahdelta reunalta tuettu taso-osa)

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

EN 1993-1-5 (4.3)

Johdettuna päätylevyn minimi paksuus

$$t_{min} = \frac{\bar{b}/0,673}{28,4\epsilon\sqrt{4}} \quad k_g \rightarrow \text{EN 1993-1-5 Taulukko 4.1}$$

$$= 2,9 \text{ mm}$$

4. Kannakelevyn hitsit

Pystysaumojen hitsien leikkauskapasiteetti

$$F_{w,Rd2} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} a_2 h_k \quad \text{EN 1993-1-8 (4.1)}$$

$$= 502,9 \text{ kN}$$

$$\rightarrow F_{w,Rd2} = 502,9 \text{ kN}$$

$$502,9 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

19,9 %

5. Diagonaalin läpileikkautuminen (jäykistelevy huomioitu t_0 mitassa)

$$\beta = b_1 / b_0 = 0,83333$$

Jos $\beta = 0,5 \leq 0,85$ tarkastettava paarteen pinnan kestävyys

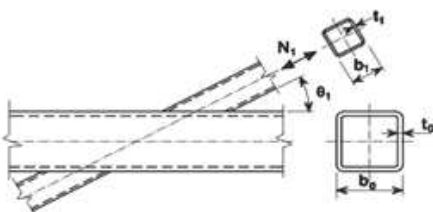
$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}/\gamma_{M5}} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0 f_{y0}/\gamma_{M5}} = 0,02083 \quad \text{EN 1993-1-8 (7.1)}$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,29 \quad \text{EN 1993-1-8 Taulukko 7.10}$$

$$N_{1,Rd} = 0,9 * \frac{k_n f_{y0} t_{s0}}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \quad \text{EN 1993-1-8 Taulukko 7.10}$$

$$= 9394,5 \text{ kN} \geq 141,421 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

1,5 %

Liitostyyppi	Kestävyyden mitoitusarvo [$i = 1$ tai 2 , $j =$ limitetty uumasauva]
T-, Y- ja X-liitokset	Paarteen pinnan murtuminen $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$

Vetävät voimat N_{ed}

6. Alapaarteen vetokestävyys

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 1440,1 \text{ kN} \quad \geq \quad 30 \text{ kN}$$

EN 1993-1-1 (6.6)

OK
2,1 %

7. Alapaarteen ja päätylevyn hitsin vetolujuuden mitoitusarvo

$$F_{w,Rd3} = \frac{\alpha f_u L_w}{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{M2}}$$

$$= 862,36 \text{ kN} \quad \geq \quad 30 \text{ kN}$$

OK
3,5 %

8. Ruuvien veto- ja lävistymiskestävyys

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$= 403,9 \text{ kN} \quad \geq \quad 15 \text{ kN}$$

EN 1993-1-8 Taulukko 3.2

OK
3,7 %

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$= 715,3 \text{ kN} \quad \geq \quad 15 \text{ kN}$$

EN 1993-1-8 Taulukko 3.2

OK
2,1 %

9. Vipuvoimat

$$F_t = \frac{F}{2} + Q, \text{ kun } \frac{F}{2} m \leq M_{pl,1} \quad Q = 0$$

$$, \text{ kun } \frac{F}{2} m > M_{pl,1} \quad Q = \frac{\frac{F}{2} m - M_{pl,1}}{e} \leq \frac{M_{pl,2}}{e}$$


$$M_{pl,1} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\sum A_{al} e_{al} f_y}{\gamma_{M0}} = 9,3E+07 \text{ Nmm}$$

$$0,75 \text{ kNm} < 93,47 \text{ kNm} \rightarrow Q = 0,8 \%$$

(EN 1993-1-8 Taulukko 6.2)

Saarinen E. Seamk kurssimateriaali ruuviliitokset s12-13

LIITE 3. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan – Tulosteet

		Rakennelaskelma, Tulostus	
		Tekijä:	Sivu: 1 (2)
Rakennuskohde:		Työ no:	Sisältö:
Pilar_i_riskikko_laskentamalli		Versio 1.01	
Tulostus:			

Lähtötiedot

Kuormat:
$N_{ed} = 30 \text{ kN}$ $V_{ed} = 100 \text{ kN}$

Teräs EN 10025-2 tai vastaava			
Ristikko	S355	Pilari	S355
$f_u =$	510 N/mm ²	$f_u =$	510 N/mm ²
$f_y =$	355 N/mm ²	$f_y =$	355 N/mm ²
Levyosat	S355	L-teräs	
$f_u =$	490 N/mm ²	$f_u =$	360 N/mm ²
$f_y =$	355 N/mm ²	$f_y =$	235 N/mm ²

Ruuvit			
Ruuvi	M30		
Halkaisija	d=	30 mm	
Reijän koko	d _o =	33 mm	
Ruuvien määrä	n=	2 kpl	
Bruttoala	A=	707 mm ²	
Jännitys poikkipinta-ala	A _s =	561 mm ²	
Lujuus		10.9	
	$f_{yb} =$	900 N/mm ²	
	$F_{ub} =$	1000 N/mm ²	

Hitsit			
Päätylevy-Ristikko	a=	7 mm	
	a _{max} =	8 mm	
L-teräs-Pilari	a=	5 mm	
	a _{max} =	9 mm	
Kannake-Pilari	a=	5 mm	
	a _{max} =	9 mm	
Kaikkien hitsien lähtöarvona a=5mm			

Tulokset

Leikkaavat voimat		kN		%	Käyttöaste
1.	Alapaarteen plastinen leikkauskestävyys	$V_{pl,Rd}$	1247	8 %	
2.	Alapaarteen ja päätylevyn hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo	$F_{w,Rd1}$	422	24 %	
3.	Päätylevyn puristuskestävyys	$N_{pl,Rd}$	1377	7 %	
4.	Kannakelevyn hitsit	$F_{w,Rd2}$	503	20 %	
5.	Diagonaalin läpipleikkautuminen ¹⁾	$N_{1,Rd}$	9395	2 %	

¹⁾ Mikäli liitoksessa käytetään jäykistelevyä, ei läpipleikkaatumista pääse tapahtumaan.

Vetävät voimat		kN		%	Käyttöaste
6.	Alapaarteen vetokestävyys	$N_{t,Rd}$	1440	2 %	
7.	Alapaarteen ja päätylevyn hitsin vetolujuuden mitoitusarvo	$F_{w,Rd3}$	862	3 %	
8.	Ruuvien veto- ja lävistymiskestävyys ²⁾	$F_{t,Rd}$ $B_{p,Rd}$	404	4 %	
9.	Vipuvoimat, Huom! kNm	M_{p1}	93	1 %	

²⁾ Pienempi arvoista määrävänä

Liitoksen käyttöaste

24 %

Laskenta

1. Alapaarteen plastinen leikkauskestävyys

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-1 (6.18)}$$

2. Alapaarteen ja päätylevyn hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{EN 1993-1-8 (4.4)}$$

$$F_{w,Rd1} = f_{vw,d} * a * 2h_T$$

3. Päätylevyn puristuskestävyys

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-1 (6.6)}$$

4. Kannakelevyn hitsit

$$F_{w,Rd2h} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} a 2h_k \quad \text{EN 1993-1-8 (4.1)}$$

5. Diagonaalin läpileikkautuminen

$$N_{1,Rd} = 0,9 * \frac{k_n f_{y0} t_{s0}}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5} \quad \text{EN 1993-1-8 Taulukko 7.13}$$

6. Alapaarteen vetokestävyys

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-1 (6.6)}$$

7. Alapaarteen ja päätylevyn hitsin vetolujuuden mitoitusarvo

$$F_{w,Rd3} = \frac{a f_u L_w}{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{M2}}$$

8. Ruuvien veto- ja lävistymiskestävyys

$$F_{t,Rd} = \frac{k_z f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

EN 1993-1-8 Taulukko 3.2

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

EN 1993-1-8 Taulukko 3.2

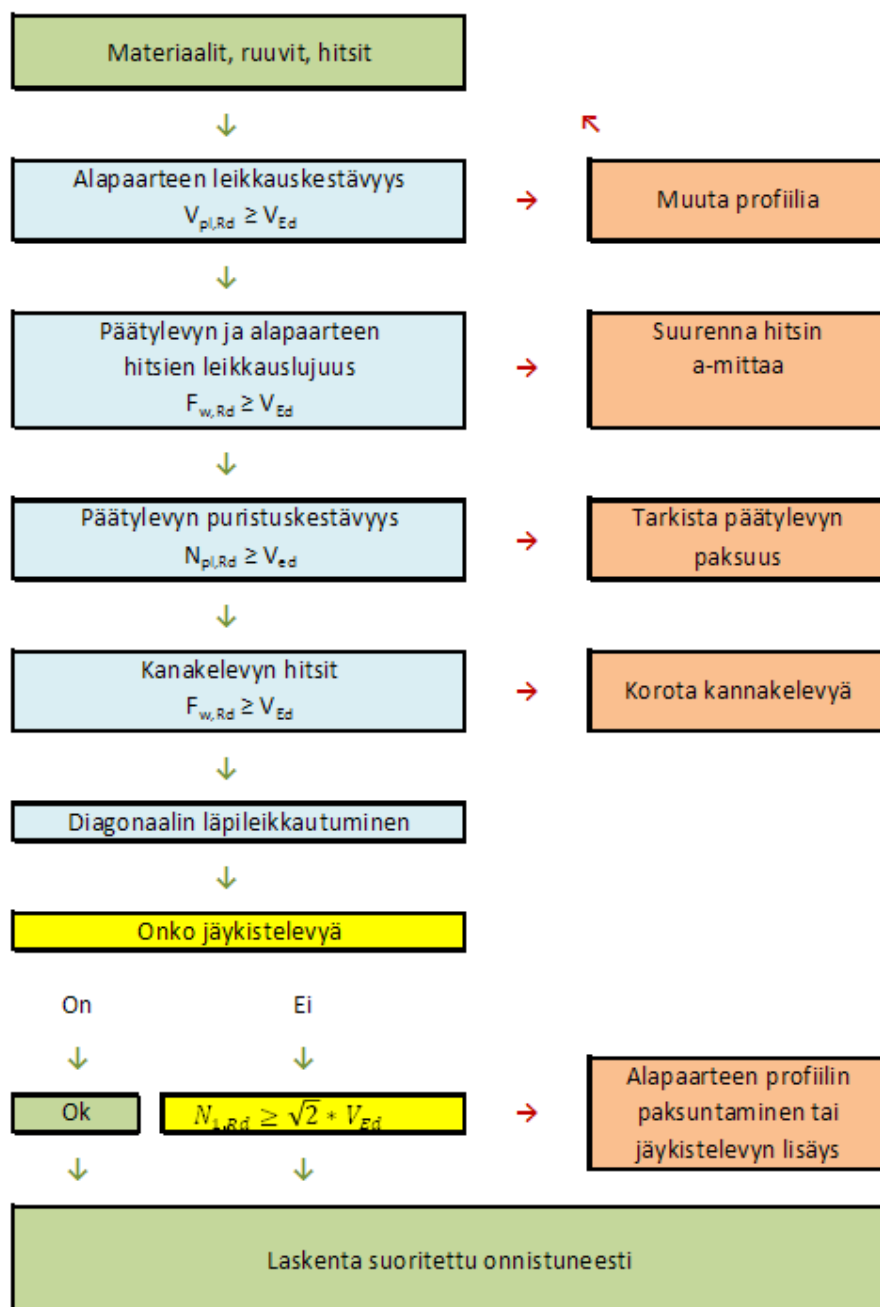
9. Vipuvoimat

$$Q = 0 \quad , \text{ kun } \quad \frac{F}{2} m \leq M_{pl,1}$$

$$M_{pl,1} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\sum A_{s1a} e_{s1a} f_y}{\gamma_{M0}}$$

LIITE 4. Liitoksen Excel laskentamalli Eurokoodien mukaan – Vuokaavio

Vuokaavio - Leikkaavat voimat



Vuokaavio - Vetävät voimat

